

УТВЕРЖДАЮ  
Декан факультета

\_\_\_\_\_ Левихин А.А.

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ ПРОЕКТИРОВАНИЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ CAD/CAM/CAE-СИСТЕМ

Направление/специальность подготовки	24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей
Специализация/профиль/программа подготовки	Проектирование авиационных двигателей и энергетических установок
Уровень высшего образования	Специалитет
Форма обучения	Очная
Факультет	А Ракетно-космической техники
Выпускающая кафедра	А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ
Кафедра-разработчик рабочей программы	А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

КУРС	СЕМЕСТР	ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ (ЗАЧЕТНЫХ ЕДИНИЦ)	ЧАСЫ (по наличию видов занятий)									ВИД ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОНТРОЛЯ
			ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ	АУДИТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ				САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА				
				ВСЕГО	ЛЕКЦИИ	ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ	ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ	ВСЕГО	КУРСОВОЙ ПРОЕКТ	КУРСОВАЯ РАБОТА	ДРУГИЕ ВИДЫ САМОСТ. РАБОТЫ	
2	3	3	108	34	0	0	34	74	0	0	74	диф. зач.
2	4	3	108	51	17	0	34	57	0	0	57	диф. зач.
ВСЕГО		6	216	85	17	0	68	131	0	0	131	

*ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ*

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА СОСТАВЛЕНА В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ ФЕДЕРАЛЬНОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО СТАНДАРТА ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ (ФГОС ВО)**

**24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей**

год набора группы: 2025

Программу составил:

Кафедра А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ  
АППАРАТОВ

Киршин Антон Юрьевич, старший преподаватель

Программа рассмотрена

на заседании кафедры-разработчика

рабочей программы **А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

Заведующий кафедрой Левихин А.А., к.т.н., доц.

Программа рассмотрена

на заседании выпускающей кафедры

**А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

Заведующий кафедрой Левихин А.А., к.т.н., доц.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**ПРОЕКТИРОВАНИЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ CAD/CAM/CAE-СИСТЕМ**

**Разделы рабочей программы**

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ
2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО
3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ
4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ
5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ
6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

**Приложения к рабочей программе дисциплины**

- Приложение 1. Аннотация рабочей программы
- Приложение 2. Технологии и формы обучения
- Приложение 3. Фонды оценочных средств

# 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ПСК-1.1 — Способен разрабатывать конструкторскую документацию на детали и узлы двигателей и стендового оборудования

ПСК-1.10 — Владеет CAE системой на уровне, необходимом для выполнения работ по профилю

ПСК-1.11 — Владеет САМ системой на уровне, необходимом для выполнения работ по профилю

ПСК-1.6 — Способен разрабатывать КД на детали, изготавливаемые по аддитивным технологиям, изготавливать их и оценивать показатели качества деталей, полученных по аддитивным технологиям

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

## **ПСК-1.1**

*знания:*

Знать современные методы автоматизированного проектирования;

*умения:*

Разработка конструкторской 2D-документации, ассоциативно связанной с 3D-моделями в соответствии с требованиями ЕСКД

Управление параметризацией объектов

Умеет определять уровень детализации решения, необходимый на определенном этапе проектирования

Умеет транслировать данные между CAD и CAE системами;

*навыки:*

Разрабатывает и выпускает рабочие чертежи сборочных единиц, деталей и систем (схем) простой и средней сложности

Оформление конструкторской документации (размеры, технические требования, допуски)

Навыки трансляции данных из/в разные CAD системы.

## **ПСК-1.10**

*знания:*

Наложение нестационарных граничных условий;

*умения:*

Умеет определять уровень детализации решения, необходимый на определенном этапе проектирования

Управление параметризацией объектов;

*навыки:*

Наложение граничных условий (CAE)

Задание параметров среды для проведения расчета (CAE)

Запуск расчёта (CAE)

Остановка расчёта (CAE)

Обработка результатов расчёта (CAE).

## **ПСК-1.11**

*знания:*

Порядок преобразования файлов, сгенерированных в CAD системе в файлы, применяемые системой управления машинного аддитивного производства

Принципы формирования управляющих программ для изготовления спроектированного изделия в САМ-системе;

*умения:*

Преобразовывает файлы, сгенерированные в CAD системе в файлы, применяемые системой управления машинного аддитивного производства;

*навыки:*

проводит анализ технологии изготовления спроектированного изделия в САМ-системе

Формирует управляющие программы для изготовления спроектированного изделия в САМ-системе.

## **ПСК-1.6**

*знания:*

Виды аддитивных технологий, технологические возможности и ограничения аддитивного формообразования

Особенности технологий селективного лазерного сплавления, селективного электронно-лучевого сплавления, прямого лазерного нанесения металла их возможности и ограничения

Этапы проектирования изделий, изготавливаемых аддитивными технологиями

Технологии удаления поддерживающего материала, улучшения текстуры материала, повышения точности, улучшения эстетического вида изделия аддитивного производства

Немеханические виды обработки изделий

Виды и возможности средств контроля процессов аддитивного производства

Требования охраны труда, экологической, пожарной и промышленной безопасности в аддитивном производстве

Последовательность действий при оценке качества несложных деталей аддитивного производства

Методы разрушающего контроля

Методы неразрушающего контроля

Методы контроля геометрии синтезируемых ДСЕ

Основные показатели качества изготовления аддитивных деталей

Способы обеспечения свойств аддитивных деталей

Основные методы и материалы изготовления деталей по аддитивным технологиям;

*умения:*

Подготавливает CAD-модель для аддитивного производства ДСЕ

Осуществляет конструктивную и технологическую проработку несложного изделия, анализирует влияние внутренних напряжений, возникающих в процессе синтеза, на возникновение поводов/коробления и трещин, а также проводит позиционирование и ориентацию изделия в камере установки АП для последующего успешного изготовления

Способен изготавливать детали с применением аддитивных технологий

Способен адаптировать модель детали для изготовления её по аддитивным технологиям

Выполняет анализ и отбор ДСЕ (скрининг), изготовление которых АП может быть технологически и экономически целесообразно

Назначает материал и оптимальную технологию формообразования ДСЕ с учетом имеющегося парка АП оборудования;

*навыки:*

Способен разрабатывать конструкторскую документацию на детали, изготавливаемые по аддитивным технологиям

Создает чертежи ДСЕ, изготавливаемых АТ с использованием CAD-систем

Анализирует результаты изготовления изделия аддитивного производства.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина **ПРОЕКТИРОВАНИЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ CAD/CAM/CAE-СИСТЕМ** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлению *24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей*.

Содержание дисциплины является логическим продолжением дисциплин: **НАЧЕРТАТЕЛЬНАЯ ГЕОМЕТРИЯ, ИНЖЕНЕРНАЯ И КОМПЬЮТЕРНАЯ ГРАФИКА.**

Содержание дисциплины является основой для освоения дисциплин: **ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ГТД И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК, ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ (ПРОЕКТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ) ПРАКТИКА, СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ, МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В КАМЕРЕ СГОРАНИЯ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ, МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В ЛОПАТОЧНЫХ МАШИНАХ, МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ПРОЦЕССОВ В ВРД, МОДЕЛИРОВАНИЕ ГАЗОДИНАМИКИ ВЫСОКОНАГРУЖЕННЫХ УЗЛОВ В ВРД.**

Предварительные компетенции, сформированные у обучающегося до начала изучения дисциплины:

- ОПК-3 — Способен разрабатывать нормативно-техническую документацию, связанную с профессиональной деятельностью
- ПСК-1.1 — Способен разрабатывать конструкторскую документацию на детали и узлы двигателей и стендового оборудования

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 з.е., 216 ч.

#### 3.1. Содержание (дидактика) дисциплины

КУРС	СЕМЕСТР	Наименование разделов и дидактических единиц	ВСЕГО	Аудиторные занятия в контактной форме			Самостоятельная работа студентов	Формируемая компетенция, %			
				ВСЕГО	Лекции	Практические занятия		ПСК-1.1	ПСК-1.10	ПСК-1.11	ПСК-1.6
2	3	Раздел 1. Раздел 1. Введение. Классификация и область применения CAD/CAE/CAM систем. Геометрическое моделирование объемных тел в CAD - системе. ведение. Классификация и область применения CAD/CAE/CAM систем. Геометрическое моделирование объемных тел в CAD - системе.	38	12	0	12	26	70	15	20	20
2	3	Раздел 2. Раздел 2. Решение задач инженерного анализа методом конечных элементов в CAE-системах. Экспорт данных из CAD в CAE системы. Построение расчетных сеток. Настройки решателя для решения задач в стационарной и нестационарной постановке. Анализ и отображение результатов расчета в задачах стационарной и нестационарной постановке.	70	22	0	22	48	10	85	0	0
Всего за 3 семестр			108	34	0	34	74	80	100	20	20
2	4	Раздел 3. Раздел 3. Аддитивные технологии. Классификация аддитивных технологий. Материалы, применяемые в аддитивном производстве. Особенности печати полимерными материалами. Постобработка изделий, изготовленных аддитивными методами.	37	17	13	4	20	10	0	40	40
2	4	Раздел 4. Раздел 4. CAM - системы. Обзор CAM - систем для 3D печати. Подготовка управляющих программ в CAM - системе.	71	34	4	30	37	10	0	40	40
Всего за 4 семестр			108	51	17	34	57	20	0	80	80
Всего по дисциплине			216	85	17	68	131	100	100	100	100

#### 3.2. Аудиторный практикум

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Тема практического занятия	Объем, ауд. часов
1	Раздел 1. Раздел 1. Введение. Классификация и область применения CAD/CAE/CAM систем. Геометрическое моделирование объемных тел в CAD - системе.	Введение. Классификация и область применения CAD/CAE/CAM систем.	2
2		Создание шаблонов основных типов документов, настройки свойств документов. Настройка основных типов команд геометрического моделирования объёмных тел.	5
3		Выполнение индивидуального задания по созданию объёмной модели	5
4	Раздел 2. Раздел 2. Решение задач инженерного анализа методом конечных элементов в CAE-системах.	Экспорт данных из CAD в CAE системы	2
5		Построение расчетных сеток: структурированной расчетной сетки, неструктурированной расчетной сетки	6
6		Решение стационарной задачи, анализ и отображение результатов расчета	4
7		Решение нестационарной задачи, анализ и отображение результатов расчета	4
8		Выполнение индивидуального задания	6
Всего за 3 семестр			34
9	Раздел 3. Раздел 3. Аддитивные технологии.	Постобработка изделий, изготовленных аддитивными методами. Контроль изделий.	4
10	Раздел 4. Раздел 4. CAM - системы.	Работа в CAM - системе для 3D печати	6
11		Формирование управляющей программы 3D модели на печать в CAM системе «слайсер»	10
12		Работа на полимерном 3D принтере. Печать изделий.	14
Всего за 4 семестр			34

#### 3.3. Самостоятельная работа студента (СРС)

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Содержание учебного задания	Объем, часов
-------	---	-----------------------------	--------------

1	Раздел 1. Раздел 1. Введение. Классификация и область применения CAD/CAE/CAM систем. Геометрическое моделирование объемных тел в CAD - системе.	Введение. Изучение основной и дополнительной литературы по теме раздела. Подготовка отчетных материалов по результатам выполнения индивидуального задания.	26
2	Раздел 2. Раздел 2. Решение задач инженерного анализа методом конечных элементов в CAE-системах.	Решение задач инженерного анализа методом конечных элементов в CAE-системах. Выбор теоретического материала для выполнения индивидуального практического задания. Подготовка к практическому занятию.	10
3		Подготовка отчетных материалов по результатам выполнения индивидуального задания: описание этапов проведения расчёта	18
4		Подготовка отчетных материалов по результатам выполнения индивидуального задания: обработка результатов численного моделирования	20
Всего за 3 семестр			74
5	Раздел 3. Раздел 3. Аддитивные технологии.	Изучение основной и дополнительной литературы по теме раздела.	8
6		Подготовка индивидуального доклада	12
7	Раздел 4. Раздел 4. CAM - системы.	Изучение основной и дополнительной литературы по теме раздела.	10
8		Оптимизация ранее созданной модели под возможности 3D печати	13
9		Подготовка отчетных материалов по результатам выполнения индивидуального задания	14
Всего за 4 семестр			57

#### 4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

СЕМЕСТР	НЕДЕЛИ СЕМЕСТРА																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
3						ДР			ИПЗ	ДР					ИПЗ	ДР	диф. зач.
4						ДР			Докл	ДР					ИПЗ	ДР	диф. зач.

Условные обозначения:

- ДР – диагностическая работа;
- ИПЗ – индивидуальное практическое задание;
- Докл – доклад;
- диф. зач. – дифференцированный зачет;
- диф. зач. – дифференцированный зачет.

**Текущий контроль успеваемости** студентов проводится в дискретные временные интервалы в следующих формах:

- диагностическая работа;
- индивидуальное практическое задание;
- доклад.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- дифференцированный зачет.



## 5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 5.1. Основная литература по дисциплине:

1. . Инженерная и компьютерная графика. Москва: Юрайт, 2021, эл. рес.
2. . Системы CAD/CAM в производстве. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2015, эл. рес.
3. А. А. Ляпков, А. А. Троян. . Полимерные аддитивные технологии. Санкт-Петербург: Лань, 2022, эл. рес.
4. А. В. Побелянский, А. А. Левихин. . Проектирование авиационных и ракетных двигателей с применением CAD/CAM/CAE-систем. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2019, 22 экз.
5. К. Ли. . Основы САПР (CAD/CAM/CAE). СПб.: Питер, 2004, эл. рес.
6. М. А. Денисов. . Математическое моделирование теплофизических процессов. ANSYS и CAE-проектирование. Екатеринбург: Изд-во УрФУ, 2011, эл. рес.

### 5.2. Дополнительная литература по дисциплине:

не требуется.

### 5.3. Периодические издания:

не требуются.

### 5.4. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины, электронные библиотечные системы:

1. <http://library.voenmeh.ru/jirbis2> — Фундаментальная библиотека БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.

### Современные профессиональные базы данных:

1. <https://rusneb.ru> – Национальная электронная библиотека (НЭБ);
2. <https://cyberleninka.ru/> - Научная электронная библиотека «Киберленинка»;  
<http://www.rfbr.ru/rffi/ru/library> - Полнотекстовая электронная библиотека Российского фонда фундаментальных исследований.

### Информационные справочные системы:

1. Техэксперт – Информационный портал технического регулирования: Нормы, правила, стандарты РФ;
2. [http://library.voenmeh.ru/jirbis2/index.php?option=com\\_irbis&view=irbis&Itemid=457](http://library.voenmeh.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=457) - БД ГОСТов собственной генерации БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова;
3. <http://www.consultant.ru/>- КонсультантПлюс- информационный портал правовой информации.

### 5.5. Программное обеспечение:

1. CURA;
2. ANSYS 2020 R2.

### 5.6. Информационные технологии:

взаимодействие с обучающимися посредством ЭИОС Moodle БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.

## **6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **6.1. Лекционные занятия:**

специализированные требования по оборудованию отсутствуют; аудитория с посадочными местами по количеству студентов; доска.

### **6.2. Практические занятия:**

1. Проектор;
2. CURA;
3. ANSYS 2020 R2.

### **6.3. Прочее:**

1. рабочее место преподавателя, оснащенное компьютером с доступом в Интернет;
2. рабочие места студентов, оснащенные компьютерами с доступом в Интернет, предназначенные для работы в электронной образовательной среде.

### Аннотация рабочей программы

Дисциплина **ПРОЕКТИРОВАНИЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ CAD/CAM/CAE-СИСТЕМ** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлению *24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей*. Дисциплина реализуется на факультете А Ракетно-космической техники БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова кафедрой А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ.

Дисциплина нацелена на формирование *компетенций*:

ПСК-1.1 Способен разрабатывать конструкторскую документацию на детали и узлы двигателей и стендового оборудования;

ПСК-1.10 Владеет CAE системой на уровне, необходимом для выполнения работ по профилю;

ПСК-1.11 Владеет САМ системой на уровне, необходимом для выполнения работ по профилю;

ПСК-1.6 Способен разрабатывать КД на детали, изготавливаемые по аддитивным технологиям, изготавливать их и оценивать показатели качества деталей, полученных по аддитивным технологиям.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с теоретическими основами и практическими навыками вычислительного моделирования процессов аэродинамики и теплотехники, методами и средствами научных исследований, функциональной схемой пакетов вычислительного моделирования (CAD, CAE системы), а также практическими навыками 3D – печати экспериментальных образцов элементов и агрегатов авиационной, ракетно-космической техники и техники специального назначения.

Программой дисциплины предусмотрены следующие **виды контроля**:

**Текущий контроль успеваемости** студентов проводится в дискретные временные интервалы в следующих формах:

- диагностическая работа;
- индивидуальное практическое задание;
- доклад.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- дифференцированный зачет.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет **6 з.е., 216 ч.** Программой дисциплины предусмотрены лекционные занятия (**17 ч.**), практические занятия (**68 ч.**), самостоятельная работа студента (**131 ч.**).

## ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

### Рекомендации по освоению дисциплины для студента

Трудоемкость освоения дисциплины составляет 216 ч., из них 85 ч. аудиторных занятий, и 131 ч., отведенных на самостоятельную работу студента.

Рекомендации по распределению учебного времени по видам самостоятельной работы и разделам дисциплины приведены в таблице.

Контроль освоения дисциплины производится в соответствии с Положением о текущем, рубежном контроле успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся.

Формы контроля и критерии оценивания приведены в приложении 3 к Рабочей программе.

Наименование работы	Рекомендуемая литература	Трудоемкость, час.
<b>Раздел 1. Раздел 1. Введение. Классификация и область применения CAD/CAE/CAM систем. Геометрическое моделирование объемных тел в CAD - системе.</b>		
Введение. Изучение основной и дополнительной литературы по теме раздела. Подготовка отчетных материалов по результатам выполнения индивидуального задания.	А. В. Побелянский, А. А. Левихин. . Проектирование авиационных и ракетных двигателей с применением CAD/CAM/CAE-систем: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2019 (1-2) . Инженерная и компьютерная графика: Москва: Юрайт, 2021 (1-2)	26
Итого по разделу 1		26
<b>Раздел 2. Раздел 2. Решение задач инженерного анализа методом конечных элементов в CAE-системах.</b>		
Решение задач инженерного анализа методом конечных элементов в CAE-системах. Выбор теоретического материала для выполнения индивидуального практического задания. Подготовка к практическому занятию.	А. В. Побелянский, А. А. Левихин. . Проектирование авиационных и ракетных двигателей с применением CAD/CAM/CAE-систем: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2019 (2.1)	10
Подготовка отчетных материалов по результатам выполнения индивидуального задания: описание этапов проведения расчёта	К. Ли. . Основы САПР (CAD/CAM/CAE): СПб.: Питер, 2004 (2) М. А. Денисов. . Математическое моделирование теплофизических процессов. ANSYS и CAE-проектирование: Екатеринбург: Изд-во УрФУ, 2011 (1-5)	18
Подготовка отчетных материалов по результатам выполнения индивидуального задания: обработка результатов численного моделирования		20
Итого по разделу 2		48
<b>Раздел 3. Раздел 3. Аддитивные технологии.</b>		
Изучение основной и дополнительной литературы по теме раздела.	А. А. Ляпков, А. А. Троян. . Полимерные аддитивные технологии: Санкт-Петербург: Лань, 2022 (1) А. В. Побелянский, А. А. Левихин. . Проектирование авиационных и ракетных двигателей с применением CAD/CAM/CAE-систем: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2019 (4)	8
Подготовка индивидуального доклада		12
Итого по разделу 3		20
<b>Раздел 4. Раздел 4. CAM - системы.</b>		
Изучение основной и дополнительной литературы по теме раздела.	. Системы CAD/CAM в производстве: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2015 (3)	10
Оптимизация ранее созданной модели под возможности 3D печати	А. В. Побелянский, А. А. Левихин. . Проектирование авиационных и ракетных двигателей с применением CAD/CAM/CAE-систем: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2019 (2.2)	13
Подготовка отчетных материалов по результатам выполнения индивидуального задания		14
Итого по разделу 4		37

## **ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**

Фонд оценочных средств, позволяющие оценить результаты обучения по данной дисциплине, включают в себя:

- диагностическая работа
- индивидуальное практическое задание;
- доклад;
- дифференцированный зачет;
- дифференцированный зачет.

### **Критерии оценивания**

#### **Диагностическая работа**

Диагностическая работа проводится в форме теста в ЭИОС Moodle:

- при правильном ответе менее чем на 60% вопросов - не аттестация;
- при правильном ответе на 60% вопросов и более - аттестация.

#### **Индивидуальное практическое задание**

Студенту необходимо выполнить три индивидуальных практических задания.

1. Разработка 3D модели в CAD - системе, в соответствии с выданной ему индивидуальной темой. Критерием оценивания индивидуального задания является правильность выполнения задания, подготовка отчетных материалов в соответствии с требованиями ЕСКД и ГОСТ 7.32-2017.
2. Проведение численного моделирования в CAE - системе, в соответствии с выданной ему индивидуальной темой. Критерием оценивания индивидуального задания является правильность выполнения задания, подготовка отчетных материалов в соответствии с требованиями ГОСТ 7.32-2017.
3. Подготовка управляющей программы в CAM - системе, в соответствии с выданной ему индивидуальной темой. Критерием оценивания индивидуального задания является правильность выполнения задания, подготовка отчетных материалов в соответствии с требованиями ГОСТ 7.32-2017.

Используются следующие критерии оценивания:

- 15- отчетный материалы задания не содержат ошибок, студент уверенно отвечает на вопросы по выполненному заданию;
- 8- отчетный материалы задания содержат незначительные ошибки, не влияющие на качество достигнутого результата, студент уверенно отвечает на вопросы по выполненному заданию;
- 5- отчетный материалы задания содержат определенные ошибки, влияющие на качество достигнутого результата или студент не отвечает на вопросы по заданию.
- 0 - обучающийся не стал выполнять индивидуальное задание или отчетные материалы содержат грубые ошибки
- Примеры индивидуальных заданий представлены в УМК дисциплины.

#### **Доклад**

Доклад проходит в устной форме по индивидуальной теме. Студент готовит презентацию (раскрытие темы) и выступает с докладом перед аудиторией. Далее студенту задаются вопросы от преподавателя и слушателей по содержанию темы доклада. Студент должен дать правильные ответы на задаваемые вопросы. Перечень тем докладов расположен в УМК дисциплины.

По результатам доклада обучающемуся выставаются баллы:

- 15- тема доклада раскрыта полностью, подготовлены презентационные материалы, обучающийся уверенно владеет подготовленным материалом, уверенно и правильно отвечает на вопросы;
- 0 - обучающийся не подготовил доклад в соответствии с требованиями.

#### **Дифференцированный зачет**

Дифференцированный зачет выставляется по количеству баллов, заработанными обучающимся в течении семестра. Суммарный балл выставляется по результатам написания диагностических работ, индивидуальных заданий и доклада. За выполнение всех требований и своевременного успешного прохождения всех контрольных мероприятий обучающийся получает дополнительные 10 баллов.

Шкала перевода результатов обучающихся в оценки по дисциплине:

- менее 51 неудовлетворительно / не зачтено
- 51 – 74 удовлетворительно / зачтено-удовлетворительно
- 75 – 84 хорошо / зачтено-хорошо
- 85 и более отлично / зачтено-отлично

#### **Дифференцированный зачет**

Дифференцированный зачет выставляется по количеству баллов, заработанными обучающимся в течении семестра. Суммарный балл выставляется по результатам написания диагностических работ, индивидуальных заданий и доклада. За выполнение всех требований и своевременного успешного прохождения всех контрольных

мероприятий обучающийся получает дополнительные 10 баллов.

Шкала перевода результатов обучающихся в оценки по дисциплине:

менее 51 неудовлетворительно / не зачтено

51 – 74 удовлетворительно / зачтено-удовлетворительно

75 – 84 хорошо / зачтено-хорошо

85 и более отлично / зачтено-отлично

Паспорт фонда оценочных средств

КУРС	СЕМЕСТР	Наименование разделов и дидактических единиц	ВСЕГО	Аудиторные занятия в контактной форме			Самостоятельная работа студентов	Формируемая компетенция, %				НАИМЕНОВАНИЕ ОЦЕНОЧНОГО СРЕДСТВА
				ВСЕГО	Лекции	Практические занятия		ПСК-1.1	ПСК-1.10	ПСК-1.11	ПСК-1.6	
2	3	Раздел 1. Раздел 1. Введение. Классификация и область применения CAD/CAE/CAM систем. Геометрическое моделирование объемных тел в CAD - системе.	38	12	0	12	26	70	15	20	20	Индивидуальное практическое задание
2	3	Раздел 2. Раздел 2. Решение задач инженерного анализа методом конечных элементов в CAE-системах.	70	22	0	22	48	10	85	0	0	Индивидуальное практическое задание
Всего за 3 семестр			108	34	0	34	74	80	100	20	20	
2	4	Раздел 3. Раздел 3. Аддитивные технологии.	37	17	13	4	20	10	0	40	40	Доклад
2	4	Раздел 4. Раздел 4. САМ - системы.	71	34	4	30	37	10	0	40	40	Индивидуальное практическое задание
Всего за 4 семестр			108	51	17	34	57	20	0	80	80	
Всего по дисциплине			216	85	17	68	131	100	100	100	100	

## Оценочные материалы по дисциплине ПРОЕКТИРОВАНИЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ CAD/CAM/CAE-СИСТЕМ

### ПСК-1.1 - Способен разрабатывать конструкторскую документацию на детали и узлы двигателей и стендового оборудования

- № 1 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ  
Для чего применяется реверс-инжиниринг?
- № 2 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ  
С какой целью применяется рендеринг в CAD системах?
- № 3 Прочитайте текст и установите соответствие  
Проведите соответствие системы и назначения

1 CAD

2 CAE

Система  
А двумерного и трехмерного моделирования  
Система для  
Б инженерных расчётов  
Система для подготовки управляющих программ для станков с числовым программным управлением  
В

- № 4 Прочитайте текст и установите соответствие  
Проведите соответствие документа и его назначения

1 Сборочный чертёж

2 Габаритный чертёж

3 Чертёж общего вида

4 Спецификация

документ, содержащий изображение  
А сборочный единицы, необходимый для её сборки и контроля  
документ, содержащий упрощенное изображение изделий с габаритными установочными и присоединительными размерами  
Б  
документ, определяющий конструкцию изделия взаимодействие его составных частей и поясняющий принцип работы изделия  
В  
документ, определяющий состав сборочной единицы комплекса или комплекта  
Г  
Документ, содержащий изображение детали и другие данные,  
Д



- № 5 Прочитайте текст и установите последовательность  
Расположите в правильном порядке составляющие десятичного номера чертежа
- 1) Код организации разработчика
  - 2) Код классификационной характеристики
  - 3) Порядковый регистрационный номер
  - 4) Код документа
- № 6 Прочитайте текст и установите последовательность  
Расставьте правильный порядок стадий разработки проекта
- 1) Техническое предложение
  - 2) Эскизный проект
  - 3) Технический проект
  - 4) Рабочая КД
- № 7 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа  
При проектировании изделий для последующего их изготовления при помощи аддитивных технологий с целью снижения количества поддерживающих структур, угол нависания поверхностей не должен превышать?
- 1) 15 градусов
  - 2) 30 градусов
  - 3) 45 градусов
  - 4) 60 градусов
- № 8 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа  
Каким инструментом САД-системы Компас-3D лучше произвести извлечение внутреннего объема камеры сгорания с целью последующего проведения численного моделирования?
- 1) Оболочка
  - 2) Булева операция
  - 3) Элемент по траектории
  - 4) Вырезать вращением
- № 9 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа  
При создании эскизов в САД программе для последующего формирования 3D модели, какие размеры необходимо указывать и какие взаимосвязи между элементами?
- 1) Только внешние размеры, указание взаимосвязей необязательно
  - 2) Минимальное количество взаимосвязей между элементами, в указании размеров нет необходимости
  - 3) Нет необходимости проставлять ни взаимосвязи между элементами ни размеры
  - 4) Эскиз должен быть полностью определен (проставлены все необходимые размеры и взаимосвязи между элементами эскиза)
- № 10 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов  
При импорте из Cad системы в Cam систему, какие параметры необходимо настроить?
- 1) Максимальное линейное отклонение
  - 2) Максимальное угловое отклонение
  - 3) Шероховатость изделия

- 4) Материал изделия
- № 11 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов  
Какие размеры в соответствии с ЕСКД необходимо обязательно проставить на сборочном чертеже?
- 1) Габаритные
  - 2) Присоединительные
  - 3) Все размеры необходимые для изготовления сборки
  - 4) Размеры предельных отклонений для каждой отдельной детали

- № 12 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов  
Что подразумевается под топологической оптимизацией?
- 1) Процесс изменения конструкции, структуры детали и ее варьирующихся параметров при заданном критерии оптимальности с сохранением или улучшением ее функционала
  - 2) Создание чертежей изделия на основе его функциональных требований
  - 3) Анализ существующей конструкции с целью выявления слабых мест и возможных улучшений
  - 4) Оптимизация технологического процесса производства изделий

**ПСК-1.10 - Владеет САЕ системой на уровне, необходимом для выполнения работ по профилю**

- № 1 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ  
В численном моделировании процессов гидрогазодинамики, что подразумевает под собой граничное условие входа?
- № 2 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа  
С какой целью в алгоритме SIMPLE применяются подрелаксационные факторы?
- 1) Повышения стабильности решения
  - 2) Ускорения процесса решения
  - 3) Задания начальных условий
- № 3 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов  
При работе в САЕ-системе, в какой зоне, при построении сетки, необходимо получить наиболее подробную сетку?
- 1) В зоне у стенок
  - 2) В зоне свободного течения
  - 3) У выходной границы расчетной области
  - 4) У входной границы расчетной области
  - 5) В зонах с большим градиентом изменения переменных
- № 4 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов  
В каком формате необходимо сохранить Cad модели детали или узла двигателя для экспорта в САЕ систему?
- 1 .m3d
  - 2 .sdprt
  - 3 .stp
  - 4 .iges
  - 5 .x\_t
- № 5 Прочитайте текст и установите последовательность  
Порядок подготовки твердотельной модели к САЕ-моделированию.
- 1 Упрощение геометрии модели: удаление фасок, скруглений, острых кромок
  - 2 Создание заглушек на входных и выходных отверстиях

3 Извлечение внутреннего объёма

4 Экспорт геометрии в формате, подходящем для САЕ-системы

№ 6 Прочитайте текст и установите соответствие

Соотнесите распределение и функцию которой можно это распределение получить

- |                                    |                   |
|------------------------------------|-------------------|
| 1 линии тока<br>жидкости           | А pathline        |
| 2 изолинии<br>температуры          | Б contour         |
| 3 направление<br>векторов скорости | В vector          |
|                                    | Г particle tracks |

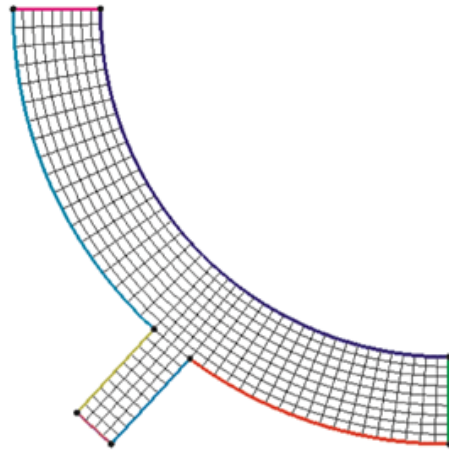
№ 7 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ

Что является сущностью численных методов моделирования?

№ 8 Прочитайте текст и установите соответствие

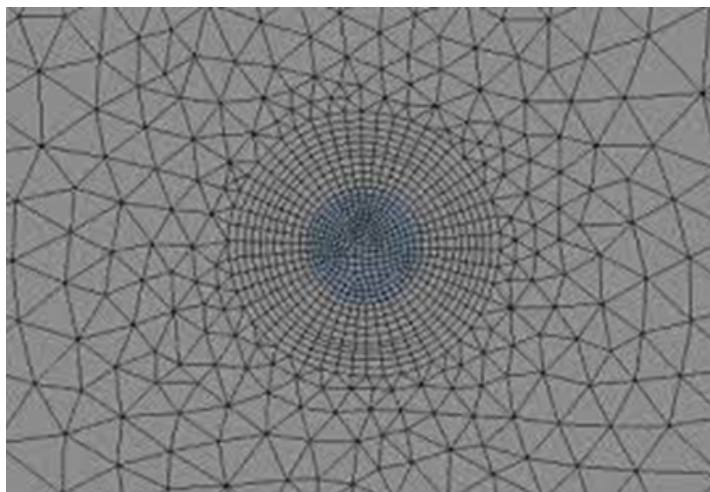
Соотнесите изображение сетки с названием.

1



А структурированная

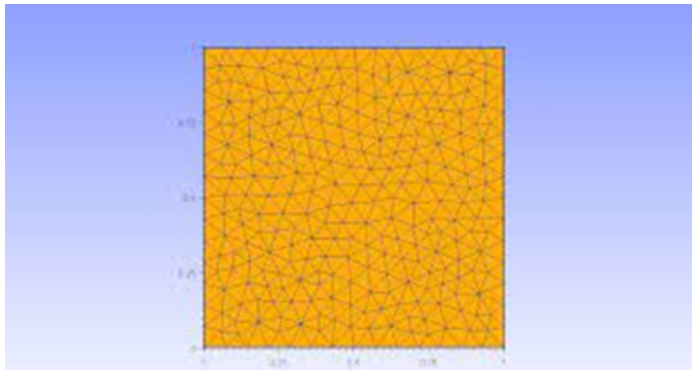
2



Б гибридная

3

В  
неструктурированная



Г призматическая

№ 9 Прочитайте текст и установите последовательность  
Расставьте правильный порядок проведения CAE расчета

- 1 Создание CAD модели
- 2 Создание сетки
- 3 Расчет
- 4 Постобработка

№ 10 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа  
Какую модель турбулентности целесообразно использовать для ускорения расчётов при решении задач внешнего обтекания?

- 1) Spalart Almaras
- 2) Reynolds Stress
- 3) k - омега
- 4) k - эпсилон

№ 11 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов  
Какие плюсы имеют Численные методы в сравнении с натурным экспериментом?

- 1 низкая стоимость
- 2 высокая скорость
- 3 полнота информации
- 4 отсутствие влияния человеческого фактора

№ 12 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа  
Какой тип инициализации расчета в программе Ansys Fluent более предпочтительно выбирать?

- 1) Гибридная
- 2) Стандартная
- 3) Неявная

**ПСК-1.11 - Владеет САМ системой на уровне, необходимом для выполнения работ по профилю**

№ 1 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ

Как улучшить адгезию изготавливаемого на 3д принтере изделия к платформе построения?

№ 2 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ

Каким способом можно улучшить качество итоговой поверхность у нависающих частей модели при 3d печати методом FDM/FFF?

№ 3 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа  
Как на качество итоговой поверхности влияет уменьшение толщины слоя?

- 1) увеличивается
- 2) уменьшается

- 3) не изменяется
- № 4 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа  
Для какого типа пластика, для FDM печати, требуется сопло из закалённой стали?
- 1) PLA
  - 2) ABS
  - 3) PETG
  - 4) Угленасыщенный пластик
- № 5 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа  
В чем преимущество применения древесных поддерживающих структур?
- 1) простота удаления поддерживающих структур
  - 2) снижение времени печати
  - 3) увеличение времени подготовки задания на печать
- № 6 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов  
Зачем в FDM/FFF принтерах необходим нагрев печатающей платформы?
- 1) Для активации клея наносимого на платформу
  - 2) Нагрев зоны печати
  - 3) Нагрев необходим только на первом слое печати для лучшего нанесения пластика, а дальше, для всех типов пластиков, он выключается
- № 7 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов  
Печать какими типами полимеров требует закрытой камеры печати?
- 1) PLA
  - 2) ABS
  - 3) PETG
  - 4) Nylon
- № 8 Прочитайте текст и установите последовательность  
Расставьте настройки слайсера по степени влияния на время изготовления детали на 3D принтере. От наименьшего до того, что максимально сокращает время печати.
- 1) Толщина слоя
  - 2) Плотность заполнения
  - 3) Скорость печати
  - 4) Количество слоёв дна и крышки
- № 9 Прочитайте текст и установите соответствие  
Соотнесите тип файла с информацией содержащейся в нём
- |          |   |
|----------|---|
| 1) .step | А) Геометрическая модель изделия                      |
| 2) .msh  | Б) Расчётная сетка                                    |
| 3) .case | В) Информация о расчетной сетке и настройках решателя |
| 4) .dat  | Г) Результаты расчета                                 |
|          | Д) Настройки решателя                                 |
- № 10 Прочитайте текст и установите последовательность  
Последовательность этапов работ с САМ системой при производстве деталей на 3D принтере
- 1 Импорт и подготовка 3D модели в САМ программе
  - 2 Настройка параметров печати: толщина слоя, скорость печати, температура экструдера

- 3 Оптимизация заполнения модели и размещение поддержек
- 4 Проверка и визуализация модели перед печатью
- 5 Генерация программы управления движением печатной головки
- 6 Передача программы на 3D принтер и запуск печати
- № 11 Прочитайте текст и установите соответствие
- Соотнесите программу с типом системы к которой она относится?
- |                  |   |
|------------------|---|
| 1 КОМПАС 3D      | А) CAD  |
| 2 SolidWorks     | Б) CAM  |
| 3 Ultimaker Cura | В) CAE  |
| 4 Prusa          | Г) Универсальная программа имеющая модули CAD, CAM, и CAE |
| 5 Fluent         |   |
- № 12 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов
- На что влияет настройка такая в САМ системе, как плотность заполнения?
- 1 прочность итогового изделия
  - 2 время печати
  - 3 качество боковой поверхности
  - 4 адгезия к платформе
- ПСК-1.6 - Способен разрабатывать КД на детали, изготавливаемые по аддитивным технологиям, изготавливать их и оценивать показатели качества деталей, полученных по аддитивным технологиям**
- № 1 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ
- Что подразумевается под таким типом аддитивного производства как экструзия материала?
- № 2 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа
- Какое из оборудования для 3D сканирования даёт наибольшую информацию сканируемом изделии?
- 1) Компьютерный томограф
  - 2) Лазерный сканер
  - 3) Оптический сканер
  - 4) Контактный сканер
- № 3 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа
- К преимуществам аддитивных технологий нельзя отнести?
- 1) Возможность кастомизации и персонализации изделий;
  - 2) Возможность снижения веса изделия;
  - 3) Возможность агрегации деталей в изделии;
  - 4) Возможность полного отказа от субтрактивных методов обработки.
- № 4 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов
- Ограничения аддитивных технологий обуславливаются следующими факторами?
- 1) Материалы и их свойства
  - 2) Характеристики технологического оборудования
  - 3) Необходимость постобработки
  - 4) Скорость изготовления
  - 5) Себестоимость изготовления единичных изделий
  - 6) Высокие ресурсозатраты
- № 5 Прочитайте текст и установите последовательность

Расположите в правильном порядке этапы конструирования при использовании аддитивных технологий

- 1) Выбор материала
- 2) Выбор формы
- 3) Определение размеров
- 4) Проведение моделирования и расчетов
- 5) Формализация результатов, нормоконтроль

№ 6 Прочитайте текст и установите соответствие  
Соотнесите тип поверхности с её назначением

1 функциональные (исполнительные) поверхности	А поверхности, при помощи которых деталь выполняет свое служебное назначение
2 основные базы	Б поверхности, при помощи которых определяется положение данной детали в изделии
3 вспомогательные базы	В поверхности, при помощи которых определяется положение присоединяемых деталей относительно данной
4 свободные поверхности	Г поверхности, не соприкасающиеся с поверхностями других деталей, служащие для соединения основных, вспомогательных и функциональных Д поверхности, при помощи которых деталь закрепляется в станке

№ 7 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов  
Какие из перечисленных технологий аддитивного производства относятся к группе Bed Deposition?

- 1) Селективное электронно-лучевое сплавление
- 2) Фотополимеризация в ванне
- 3) Прямой подвод энергии и материала
- 4) Селективное лазерное спекание

№ 8 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа  
При применении аддитивных технологий, что является итоговым результатом конструирования?

- 1) Электронная модель изделия
- 2) Чертёж детали
- 3) G-код
- 4) Деталь

№ 9 Прочитайте текст и установите последовательность

Укажите правильный порядок операций постобработки деталей/изделий сложной геометрии после селективного лазерного сплавления:

- 1) Очистка от порошка
- 2) Термообработка
- 3) Снятие детали с платформы построения
- 4) Поверхностная обработка, снижение шероховатости

№ 10 Прочитайте текст и установите соответствие

Соотнесите тип технологии аддитивного производства с описанием

1 Струйное нанесение связующего	А Процесс АП, в котором порошковые материалы соединяются выборочным нанесением жидкого связующего
2 Прямой подвод	Б Процесс АП, в котором энергия от внешнего источника используется для

энергии и материала	соединения материалов путем их сплавления в процессе нанесения
3 Струйное нанесение материала	В Процесс АП, в котором изготовление объекта осуществляют нанесением капель строительного материала
4 Синтез на подложке	Г Процесс АП, в котором энергия от внешнего источника используется для избирательного спекания/сплавления предварительно нанесенного слоя порошкового материала Д Процесс АП, в котором материал выборочно подается через сопло или жиклер

№ 11 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов  
Что такое реверс-инжиниринг?

- 1) Процесс создания твердотельной модели изделия по чертежам
- 2) Анализ существующего изделия с целью выявления его устройства и принципа работы
- 3) Восстановление или копирование изделия без доступа к исходным чертежам
- 4) Создание нового продукта по аналогичным

№ 12 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ  
Что такое рабочая камера в аддитивном производстве?